

快音の設計・評価・解析技術

本田技術研究所 能村 幸介*

*のうむら こうすけ：四輪R&Dセンター

はじめに

機械とは動力によって動くものであり、その運動に伴い振動は必ず発生し、振動のあるところに空気が接していれば音も必ず発生する。機械製品は人の住環境内に置かれるものが多く、人の操作を必要とするものはさらに身近なものとなる。したがって、快適な生活空間を確保しようとするとき機械騒音は阻害要因でしかないため、その低減を目的とした設計は、どの機械製品でも例外なく行われているであろう。しかしながら、機械製品のほとんどは軽量および低コストで主目的とする機能を実現することが求められる。概してこれらに相反する傾向が強い騒音対策は、重量とコストは最小限度で主とする機能を妨げない、という条件付きで求められる。重量とコストの制限やほかの機能を成立させることが騒音対策を制限することにつながり、機械騒音を知覚困難なレベルまで低減することが困難となる。その場合は音質改善が次の手として現実的な対策指針となりえる。ここではそれを快音化と称し、機械製品が発生する音の快音化プロセスの概要と、配慮すべき点について解説する。

快音化プロセスの概要

機械製品の発する音を大別すると、単に不快にしか感じられない音と、ある種のインフォメーションとして聞こえても良いものがあると考えられる。

前者はいわゆる騒音でありネガティブなものではない。後者は騒音とは異なりポジティブな一面を持つ場合もある。インフォメーションとして聞こえても良い音の例としては、まずは不快ではないレベルの音量であることを前提として、機械製品が正常に作動していることが認知できる音はどうだろう。インジケータランプなどで視覚的に正常動作を知ることはもちろんできるが、音であれば後ろを向いていても認知できる。エアコン・冷蔵庫・炊飯器など、複数のものであっても聞き慣れた音が聞こえてきて、正常であるという安心感が意識せずとも得られるのではないだろうか。また、対象が一部の人に限られるかもしれないが、バイクのエンジン音の例である。バイクを発進させる際のクラッチ操作はエンジンの回転速度をアクセルで調整して、タイミングよく行わなければならないが、ほとんどの人はエンジン音の変化によりクラッチ操作のタイミングを計っているはずである。なぜならタコメータを見続けていたら前方の安全確認が十分できなくなり不安で発進できないからである。また、自動車の例では、一部の価値観を持つ人に限定されるものの、加速中のエンジン音が動力性能の高さや車両の加速感を感じさせるなど、音以外の付加価値を演出する効果を持つ場合もある。このように、音に対する評価は機械製品の用途や人の価値観により大きく異なるため、こうしたことを考慮した評価基準の設定が重要となる。機械製品の快音化のプロセスの第1歩はこうした評価基準に則って目標音を決定することである。目標音を決定した後は、その音を形

成する要因となる機械の起振力とその伝達特性を解析し、寄与の高い特性を明らかにする。そして目標音になるような特性の組合せを検討し、それらを実現させる構造を決めていく。構造最適化検討にはCAEが有効であり、振動騒音問題では有限要素法がよく用いられる。目標音を決定した後のプロセスについては快音設計だからといって特別なものではない。

人の聴覚特性の反映

音は空気中を伝わる疎密波であり、空間のある点で通過していく疎密波を観測すると音圧変動となる。これはマイクロホンを用いることで容易に計測可能である。単一周波数の音圧信号は正弦波で表すことができ、振幅・周波数・位相の3要素のみで決まっている。そして、人の聴覚も音の高低の違いとして周波数を弁別する能力があるため、周波数ごとにその量を把握するという目的のために音の解析にはフーリエ変換された周波数スペクトラムをよく用いる。ここでもし、人の聴覚的な周波数分解能が周波数スペクトラムのとおりで、音の大きさ感覚が信号の振幅に比例していたら、あらゆる音は複数の純音がただ聴こえるだけとなり、それを定量的に説明するのは簡単なことであっただろう。しかしながら、人の聴覚特性に関する研究が1900年代あたりから盛んに行われるようになり、それらの実験結果から、複雑な聴覚特性により音圧レベルなどの物理量では人の感じている刺激の量を定量的に表すことができないということが明らかにされている。代表的な聴覚特性として、等ラウドネスレベル曲線・臨界帯域幅・マスキング効果はよく知られている。こうした聴覚特性を考慮しないまま音圧レベルの高い周波数域をただ対策する、ということでは聴覚的な音の大きさが下がるとは限らず、音質改善に確信をもって取り組むことは困難になってくる。

1つの事例として機械騒音にありがちな変動音を挙げてみよう。変動音とは、起振力が周期的に変動したり、変動しなくとも力点が移動するなどして生じることがある。これを簡易的に示したものが図1(a)である。また、この波形は周波数領域

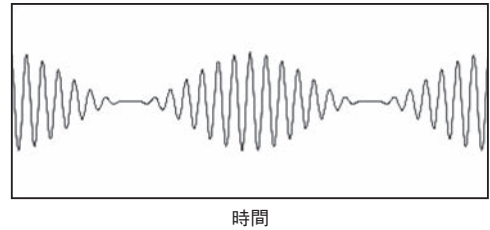


図1(a) 変動音波形

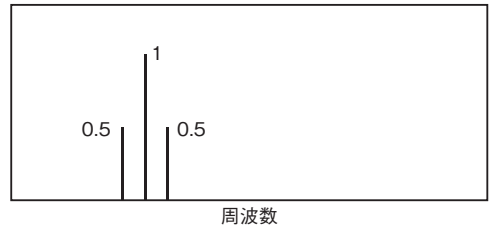


図1(b) 周波数スペクトラム

に変換すると図1(b)に示すような単なる3種の純音である。この3種の純音が1つの臨界帯域幅内にある場合、変動する音として聴こえる。さらに、これら純音の相対位相が変わると周波数と振幅は変わっていないにもかかわらず聞こえ方が異なる。このように、計測が可能な音圧信号の持つ物理量と聴覚的な刺激の量には大きな乖離があるのである。機械製品の快音化に向けてはこうした聴覚特性の理解と快音評価指標構築への反映が必須である。

快音評価指標の確立

機械製品の快音化に取り組むに当たり、その指標としては図2に示すように、快音評価量に対する計測可能な物理量の関連付けがなされており、各部振動特性と起振力の対策の効果を評価できるようにしたい。機械製品が発する起振力や振動について計測することは比較的容易であり、音についても、人の頭部形状を模倣し耳位置にはマイクロホンが設置された人形が製品化されており、これを用いることで両耳分の収録が可能である。このとき、頭部形状により引き起こされる音の回折・反射・耳介内の溝の共鳴などが反映されるため、通常のマイクロホンで収録された信号とは異なる

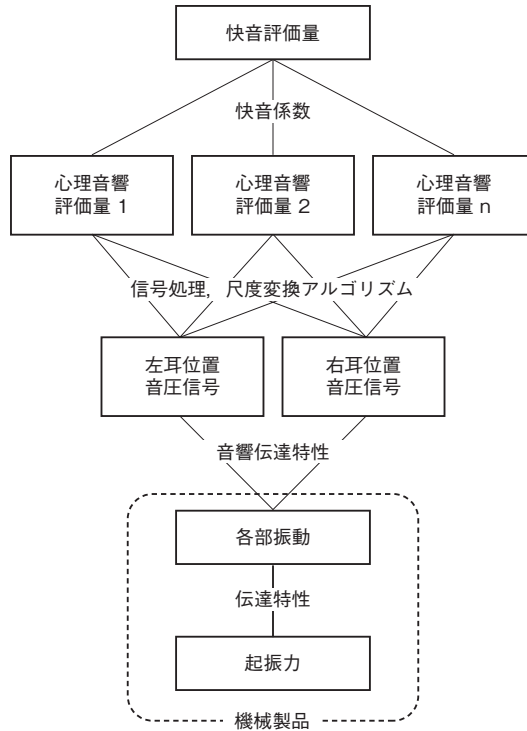


図2 指標階層構造イメージ

ものとなるが、人の耳に到来する音を正確に収録するためにはこれを用いたほうが良い。収録された音は解析に用いるが再生試聴もできる。再生システムは原音を忠実に再現することを目的として、再生システム固有の特性を補正しつつ音量の絶対値が再現できるように調整されており、あたかも現場で聴いているかのような臨場感のある音の再生が可能となっているものがある。これは後述する官能評価実験には非常に有用となる。

次に心理音響評価量についてであるが、前述のとおり、複雑な聴覚特性により計測可能な音圧信号の持つ物理量は聴感に対しては間接的なものでしかないということであれば、これらを用いて的確な快音化指針を立てるのは困難である。間接的な物理量を聴感に一致した心理音響評価量として変換することができれば、快音化を検討する技術者が聴覚特性を熟知していなくても音を評価できるようになり有用である。これが一番の理由なのかは定かでないが、心理音響評価量の定量化を目的とし、聴覚特性を反映した算出方法が考案され

ている。その代表的なものとしてISO 532で規格化された音の大きさを表すラウドネスがある。ほかにいくつか提案されており、いずれも音圧信号に対して複雑な処理を行うことで定量化している。人の感じる音質すべてを表現できるまでには至っていないものの、現在も世界各所でこうした研究がなされていることは公開される論文などから明白である。待てば揃うのか、待っても揃わないのかは現在のところ不明であり、心理音響評価尺度の確立は難易度が高い。さらに、心理音響評価尺度がすべて揃ったとしても、これらは所詮聴覚的な刺激の量を定量的に表現できるようになったに過ぎず、人の価値観は反映されていない。そこで快音評価指標の確立が望まれてくる。この確立方法については非常に多様であり、どれが良いとは一概に言えないものの、その一例を述べる。

はじめに、対象機械製品の発する音を人が聴きそうな位置で前述の人形型マイクロホンで収録する。このとき、異なる音を発する仕様違いの機械製品があればそれも収録し、なるべく多様な音を